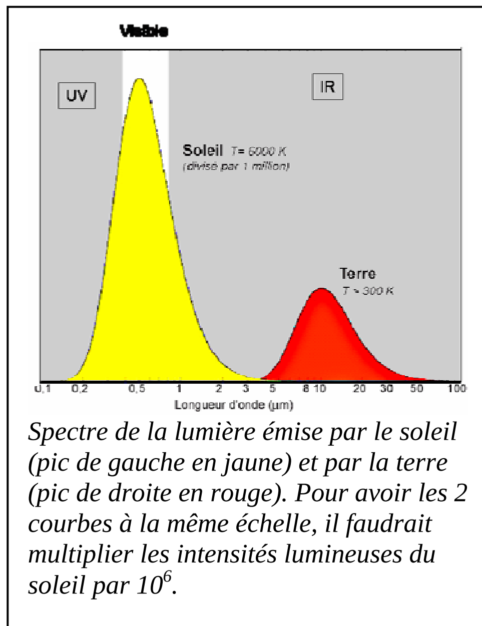
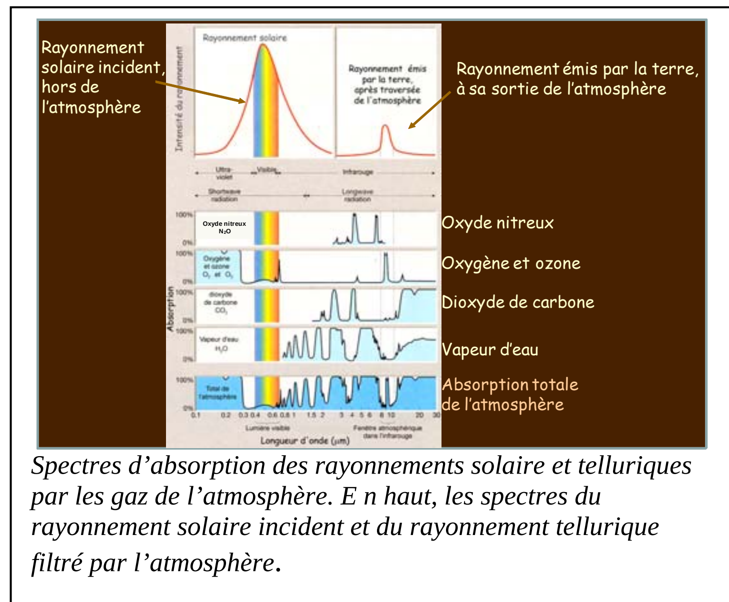
Effet de serre et climat.

La terre reçoit du soleil 1368 W par m^2 perpendiculairement aux rayons du soleil.
Perpendiculairement à ces rayons la surface irradiée est πR^2, où R est le rayon de la terre.
La surface totale de la terre est $4\pi R^2$.
La puissance moyenne reçue au sol est donc de 1368/4 = 342 $W.m^{-2}$.
La terre absorbe 70% de l'énergie reçue du soleil, soit 240 $W.m^{-2}$. Le reste, 30%, 92 $W.m^{-2}$, est renvoyé vers l'espace.
La terre réémet du rayonnement vers l'espace sous forme infrarouge. Les conditions climatiques sont conditionnées par un bilan radiatif global nul. La terre doit donc émettre 240 $W.m^{-2}$ vers l'espace.
Selon la loi de Stefan, cela correspond pour un corps noir à une température de 255 K, soit -18°C.
La terre est donc vue de l'espace comme un corps noir à -18°C.
Ce qu'on appelle terre est l'ensemble de la planète, avec son atmosphère.
La température moyenne au sol est de +15°C. Ces 33 degrés de différence sont dus à l'effet de serre.

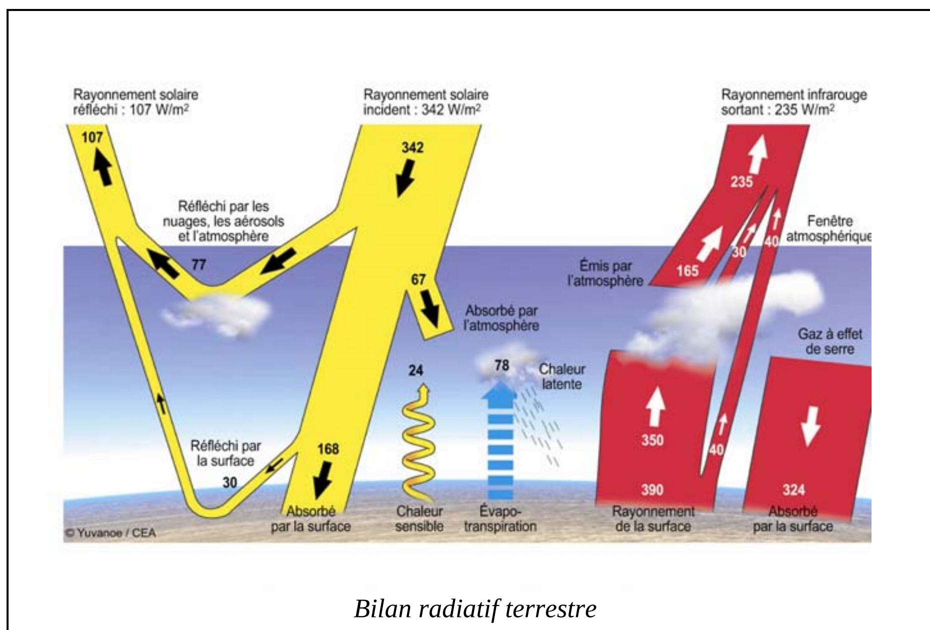


Spectre de la lumière émise par le soleil (pic de gauche en jaune) et par la terre (pic de droite en rouge). Pour avoir les 2 courbes à la même échelle, il faudrait multiplier les intensités lumineuses du soleil par 10^6.



Spectres d'absorption des rayonnements solaire et telluriques par les gaz de l'atmosphère. E n haut, les spectres du rayonnement solaire incident et du rayonnement tellurique filtré par l'atmosphère.

L'atmosphère est peu absorbante dans le domaine spectral de la lumière solaire.
Dans le domaine du rayonnement tellurique (rayonnement IR émis par la terre), l'atmosphère présente de nombreuses bandes d'absorption (essentiellement d'excitation de modes de vibration des molécules à 3 atomes ou plus).



Bilan radiatif terrestre

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

La surface de la terre absorbe 50% du rayonnement solaire incident au sommet de l'atmosphère. Elle se refroidit par émission de rayonnement infrarouge.
90% du rayonnement émis par la surface est absorbé dans l'atmosphère qui est ainsi chauffée.
A son tour, l'atmosphère émet du rayonnement infrarouge, dans toute les directions, et donc pour moitié vers la surface. Il y a donc piégeage de chaleur dans l'atmosphère.

Un peu d'historique de l'effet de serre.

Le piégeage de la chaleur par l'atmosphère avait été pressenti par Horace Bénédict de Saussure dans la seconde moitié du 18ème siècle pour expliquer l'écart de température au sol entre le sommet des montagnes et les vallées.
L'effet de serre a été correctement identifié par Jean-Baptiste Fourier qui lui a donné ce nom en 1824. Fourier avait compris le principe général du fonctionnement de la machine climatique.
Le CO_2 et la vapeur d'eau ont été identifiés comme les principaux gaz à effet de serre par Claude Pouillet en 1838.
John Tyndall a reconnu en 1859 le rôle climatique majeur des gaz à effet de serre : « *Une seule nuit sans vapeur d'eau suffirait pour anéantir toute plante sensible au gel* »
En 1896, Svante Arrhenius publie les résultats d'un long calcul sur l'effet climatique d'une variation de la concentration atmosphérique du CO_2. Ainsi, un doublement du CO_2 entraînerait une augmentation de la température moyenne de l'ordre de 5°, augmentation plus forte aux hautes latitudes. Il prédit que l'utilisation industrielle du charbon comme combustible va entraîner un réchauffement de la planète, qu'il considère comme bénéfique.
En 1902, Knut Angström mesure en laboratoire l'absorption des infrarouges à travers un tube rempli d'une quantité de CO_2. Il trouve qu'une variation d'un facteur 2 de la quantité de CO_2 en plus ou en moins autour de la quantité contenue dans la colonne atmosphérique n'influe que très peu sur l'absorption. Ceci jette le discrédit sur les calculs d'Arrhenius. En fait, comme on le verra plus loin, cette mesure parfaitement correcte n'infirme en rien les résultats d'Arrhenius.
En 1931, Edward Hulburt refait les calculs d'absorption atmosphérique et confirme les résultats d'Arrhenius.
En 1938, Guy Callendar calcule la variation de l'altitude jusqu'à laquelle les infrarouges sont absorbés par le CO_2.

> *Une petite explication : l'absorption est forte, donc les infrarouges sont absorbés rapidement dans la basse atmosphère ; l'atmosphère émet à son tour des infrarouges, de façon isotrope et donc pour moitié vers la surface et pour moitié vers le haut ; ces derniers sont à leur tour absorbés, et le processus se répète jusqu'à ce que la quantité de CO_2 restante au-dessus de la zone émettrice ne soit plus assez importante pour absorber les infrarouges. Ceci montre au passage que l'expérience d'Angström n'était pas adaptée pour mesurer le comportement de l'atmosphère : il n'y a pas absorption unique comme dans le tube d'Angström mais successions d'absorptions et réémissions.*

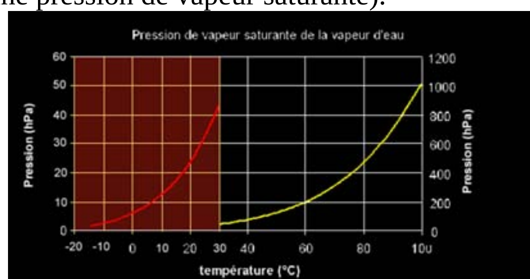
En 1955, Hans Suess met en évidence l'appauvrissement relatif en ^{14}C de l'atmosphère. Cet appauvrissement est la preuve de l'accumulation dans l'atmosphère de carbone fossile, dont le ^{14}C a disparu depuis des millions d'années.
En 1956, grâce aux ordinateurs, Gilbert Plass effectue le calcul radiatif exact de l'absorption des IR par l'atmosphère en utilisant explicitement les raies d'absorption des gaz. Avec le taux d'émission de CO_2 de l'époque, il prédit une augmentation de la température globale de 1,1°C par siècle.
En 1957, Roger Revelle démontre que les capacités de stockage du CO_2 par l'océan ne sont pas infinies mais son limitées par les réactions chimiques en jeu dans l'océan.
A la fin des années 50 aux USA (Plass), au début des années 60 en URSS (Budyko), les premiers signaux d'alarme sur le réchauffement sont envoyés vers le grand public.
En 1958 débute la mesure systématique du CO_2 atmosphérique par Keeling dans des lieux non perturbés au jour le jour par les activités humaines (Mauna Loa à Hawaï et Antarctique). En 1960, la réalité de l'augmentation du CO_2 est établie.
Dans les années 60, Manabe et ses collaborateurs étudient systématiquement l'impact des gaz à effet de serre sur la température globale.

Noter que tout ce qui a été présenté jusqu'ici a été fait avant le début du réchauffement rapide de la planète qui a débuté dans les années 1970. Ceci contredit formellement l'argument fréquemment exprimé par les sceptiques d'un réchauffement dû à l'homme qui prétendent que l'on attribue au CO_2 le réchauffement observé actuellement simplement parce qu'on l'a observé en même temps que l'augmentation de la concentration du CO_2.

Qui produit de l'effet de serre ?
Tout ce qui, dans l'atmosphère, absorbe plus les IR telluriques que le rayonnement solaire incident.

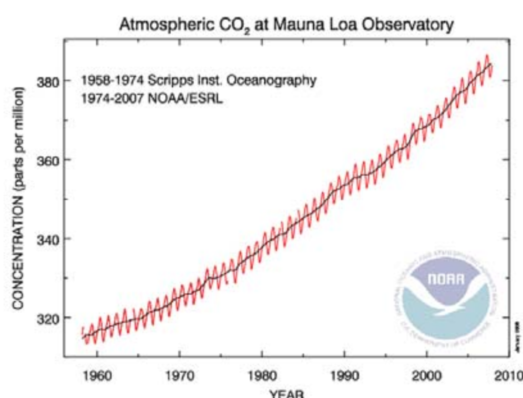
Les gaz à effet de serre :

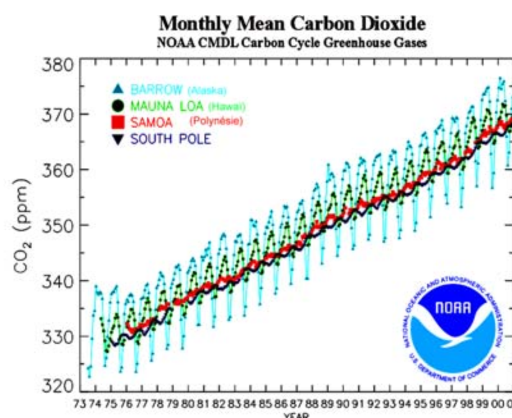
- la vapeur d'eau H_2O. C'est le premier gaz à effet de serre naturel. Sa présence dans l'atmosphère est conditionnée par la thermodynamique. A chaque température correspond une concentration maximale de vapeur d'eau (ou une certaine pression de vapeur saturante).



On considère que l'humidité relative n'est pas modifiée statistiquement par le réchauffement. L'augmentation de la température entraîne donc une augmentation du contenu en vapeur d'eau, et donc aussi une augmentation de l'effet de serre. La vapeur d'eau en excès se condense en eau liquide ou en glace, selon la température, pour former les nuages.

- le dioxyde de carbone CO_2. Deuxième gaz à effet de serre dans la nature. L'augmentation de sa concentration dans l'atmosphère est responsable de la moitié du forçage radiatif dû à l'action de l'homme. Il n'est pas détruit dans l'atmosphère et doit donc en être éliminé par absorption par un autre compartiment de l'environnement : par dissolution dans l'hydrosphère ; par la photosynthèse dans la biosphère ; voire, sur des temps très longs dans la lithosphère par altération des silicates en carbonates.

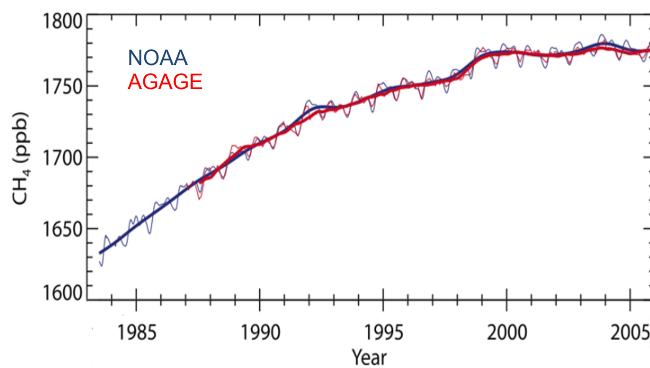


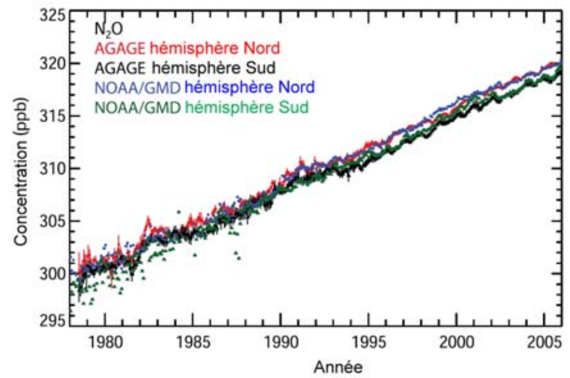


Les mesures de la concentration atmosphérique du CO2 à Mauna Loa, Hawaï (figure de gauche) montrent l'augmentation exponentielle de cette concentration depuis le début des mesures en 1960. Après une légère réduction du taux d'augmentation au début des années 2000, ce taux a de nouveau crû avec le développement de l'industrie chinoise en particulier. La figure de droite compare les concentrations mesurées à 4 latitudes très différentes (71° N, 19°N, 13° S, 90° S) prouvent que la concentration moyenne est la même en tout point du globe, du fait du mélange rapide de la troposphère. Les oscillations saisonnières sont la conséquence de la variation de l'activité de la photosynthèse avec les saisons).

- le méthane CH_4. Ce gaz se forme dans la décomposition anaérobie de la cellulose et autres matières organiques. Il se dégage naturellement dans les zones humides. L'homme contribue au rejet de méthane dans l'atmosphère par l'agriculture et l'élevage (les rizières, la fermentation dans la panse des ruminants, brûlis), les décharges, les fuites de gaz naturel lors de son transport ou dans les mines de charbon. Puissant gaz à effet de serre, il a vu sa concentration atmosphérique multipliée par 2,5 depuis le début de l'ère industrielle. Depuis quelques années, cette concentration n'augmente plus sans qu'on en sache bien la raison.

- L'oxyde nitreux N_2O. Puisant gaz à effet de serre, avec un temps de résidence moyen estimé à 114 ans, l'oxyde nitreux est émis par les micro-organismes des sols recouverts de végétation et des zones aquatiques à forte productivité (fleuves, estuaires, upwellings, marges continentales). C'est à l'accroissement des surfaces cultivées et à l'utilisation massive d'engrais qu'est attribuée l'augmentation de sa concentration atmosphérique au cours de l'ère industrielle.





Concentrations atmosphériques du méthane (à gauche) et de l'oxyde nitreux (à droite) mesurées par la NOAA et par l'expérience AGAGE de l'organisation météorologique mondiale

- l'ozone O_3. Il est produit dans la stratosphère où il absorbe une partie du rayonnement ultraviolet en provenance du soleil. Il est produit dans la troposphère dans des réactions faisant intervenir les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et des composés organiques volatils. Les combustions (industrie, transports, biomasse) sont des générateurs de ces précurseurs de l'ozone. La diminution de l'ozone stratosphérique s'est traduite par une diminution du forçage radiatif lié à l'ozone dans la stratosphère
- Les composés fluorés : perfluorocarbures, hydrofluorocarbures, hexafluorure de soufre. Les hydrofluorocarbures sont produits pour remplacer les chlorofluorocarbures destructeurs de la couche d'ozone. Leur concentration est en forte augmentation. Les perfluorocarbures sont produits dans la métallurgie de l'aluminium. L'hexafluorure de soufre SF_6 est produit comme isolant électrique. Tous ces gaz sont en augmentation. Leurs temps de résidence dans l'atmosphère vont de quelques années à 50 000 ans.
  Les chlorofluorocarbures voient leur concentration diminuer depuis la mise en application du protocole de Montréal.

Composition de la troposphère

Azote	**N_2**	**78,08 %**
Oxygène	**O_2**	**20,95 %**
Vapeur d'eau	**H_2O**	**0 à 4 %**
Argon	**Ar**	**0,93 %**
Dioxyde de carbone	**CO_2**	**0,0370 %**
Néon	**Ne**	**0,0018 %**
Hélium	**He**	**0,0005 %**
Méthane	**CH_4**	**0,00017%**
Hydrogène	**H_2**	**0,00005 %**
Oxyde nitreux	**N_2O**	**0,00003 %**
Ozone	**O_3**	**0,000004 %**

En rouge : les composés naturels à effet de serre

Corps	Temps de résidence	Pouvoir de forçage radiatif
CO_2	**?[*]**	**1**
CH_4	**12 ans**	**62[**]**
N_2O	**114 ans**	**296**
CF_4	**> 50000 ans**	**5700**
SF_6	**3200 ans**	**22000**
CFC-12	**100 ans**	**10600**
Des cas à part :		
O_3	**quelques jours**	**dépend de l'altitude**
H_20	**dépend de la météo**	

** le CO2 n'est pas détruit mais capturé par une autre composante de l'environnement (hydrosphère, biosphère, lithosphère)*

*** le pouvoir de forçage radiatif du méthane est calculé en tenant compte de celui de ses produits de dégradation, le CO_2 et la vapeur d'eau.*

Autres corps à effet de serre :

- Les nuages. Les nuages jouent essentiellement un rôle d'écran. Ils diffusent le rayonnement électromagnétique, le rayonnement solaire comme le rayonnement tellurique. Ils ont un =double rôle : un rôle de parasol empêchant une partie du rayonnement solaire d'atteindre le sol, et un rôle de couverture, empêchant le rayonnement tellurique de partir vers l'espace. Selon leur altitude et leur épaisseur, l'un ou l'autre rôle sera prépondérant. Les nuages bas jouent principalement un rôle de parasol. Les nuages fins élevés (cirrus) sont très efficaces pour piéger les infrarouges.

  La formation des nuages est un processus qui se joue au niveau sub-micrométrique. La façon dont les nuages vont réagir à l'augmentation de température et à l'augmentation du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère qui en résultera est une des grandes causes d'incertitude des modèles climatiques.
- Les aérosols. Les aérosols, suspensions de particules dans l'atmosphère, jouent un rôle climatique multiple.
  Leur effet direct sur le climat est un rôle d'écran, analogue à celui des nuages.
  Ils ont aussi un effet indirect, dans la formation des nuages : les particules d'aérosols sont des noyaux sur lesquels la vapeur d'eau va se condenser pour former les nuages. De la quantité de noyaux de condensation présents dépendra la taille des gouttelettes d'eau, ce qui conditionnera les propriétés optiques (albédo) et le temps de résidence du nuage.
  Enfin, les aérosols absorbants (aérosols carbonés) provoquent un échauffement local de l'atmosphère qui réagit sur sa stabilité verticale.

Composés influant sur l'effet de serre :

- Gaz réactifs. Sans être directement des composés à effet de serre, un certain nombre de gaz jouent un rôle important dans la production ou l'élimination des gaz à effet de serre.

Quelques caractéristiques de l'effet de serre

Effets de l'augmentation la concentration des gaz à effet de serre ?

Deux cas sont possibles selon que le gaz est peu ou fortement absorbant :

- Gaz est peu absorbant **:** on aura simplement une augmentation du taux d'absorption, exponentielle avec la quantité de ce gaz intégrée sur la colonne atmosphérique
- Gaz est fortement absorbant : la probabilité d'absorption étant très élevée, le photon n'ira pas loin avant d'être absorbé et donc d'échauffer l'atmosphère. L'atmosphère plus chaude va se refroidir en émettant des infrarouges, dans toutes les directions. Les infrarouges ainsi émis seront absorbés à leur tour et le processus se répétera, la moitié des photons étant à chaque fois émis vers le haut et la moitié vers le bas. Quand les infrarouges seront émis vers le haut à altitude telle que la quantité de gaz à effet de serre

traversée par les photons soit suffisamment faible, les photons pourront s'échapper vers l'espace. Augmenter la concentration des gaz à effet de serre revient à augmenter l'altitude jusqu'à laquelle l'énergie rayonnée sera absorbée.

Effets d'accumulation

Les gaz à effet de serre injectés par l'homme dans l'atmosphère ont des temps de résidence longs. Ils s'accumulent dans l'atmosphère. Ils inhibent les pertes de chaleur de la terre vers l'espace, un peu comme une couverture empêche la chaleur du dormeur de sortir du lit.

Accumuler des gaz à effet de serre, c'est comme empiler des couvertures sur le lit, ça provoque un réchauffement au niveau du dormeur. Mais le réchauffement n'est pas instantané, il se fait au fur et à mesure de l'apport de chaleur, par le dormeur dans le cas du lit, par le soleil dans le cas de la terre. Ainsi le réchauffement pour la terre se poursuit jusqu'à ce que soit atteint l'état stationnaire où la quantité d'énergie reçue du soleil est exactement compensée, en moyenne, par la quantité de chaleur rayonnée par la planète terre (atmosphère comprise).

L'arrêt de l'accroissement de l'effet de serre n'entraîne donc pas l'arrêt immédiat du réchauffement en cours.

Autres acteurs conditionnant le climat et ses variations

Le soleil

Toute l'énergie qui fait fonctionner la machine climatique est fournie par le soleil. Toute variation de l'énergie que la terre en reçoit a une influence sur le climat global. Ces variations peuvent provenir d'une variation de l'activité solaire. Elles peuvent aussi être dues à une modification de l'ellipticité de l'orbite terrestre et donc de la distance moyenne de la terre au soleil. Mais des variations de la répartition saisonnière et géographique de l'insolation ont aussi des conséquences climatiques importantes ; de telles variations sont dues aux modifications de l'ellipticité de l'orbite terrestre et aux phénomènes de précession et de nutation (oscillation de l'axe de rotation de quelques degrés autour de son inclinaison moyenne) du mouvement de la terre sur son orbite.

Les grands cycles glaciaires – interglaciaires du quaternaire sont pilotés par ces variations géographiques et saisonnières de l'insolation liées aux variations du mouvement de la terre (cycles de Milankovitch).

Des phénomènes comme le petit âge glaciaire sont reliés aux variations de l'activité solaire[1].

L'hydrosphère

Les océans sont en interaction constante avec l'atmosphère. L'évaporation de l'eau, source des nuages, permet le transport d'énergie par l'atmosphère sous forme de chaleur latente.

Les océans eux-mêmes assurent la moitié du transport de chaleur des basses latitudes vers les pôles, par les courants de surface. Le retour des eaux, dans l'Atlantique, se fait en grande partie par la circulation thermohaline profonde. La boucle complète de circulation dure entre 500 et 1000 ans. L'océan est donc susceptible de stocker dans les eaux profondes un signal perturbateur qui lui aura été infligé pour le ramener à la surface quelques siècles plus tard. Il joue donc à la fois un effet retard et un effet mémoire pour les modifications du climat.

Il absorbe approximativement ¼ du CO_2 injecté par l'homme dans l'atmosphère, une capacité d'absorption qui risque de diminuer avec le réchauffement en cours et l'acidification des eaux provoquée par l'accumulation du CO_2.

Les micro-organismes vivant dans les eaux de surface émettent des composés soufrés, précurseurs de d'aérosols de particules de sulfates qui servent de noyaux de condensation de la vapeur d'eau pour la formation des nuages.

Le niveau de la mer va monter, sous l'effet de la dilatation thermique, mais aussi et plus tard du fait de la fonte des glaces continentales.

---

[1] Mentionnons pour mémoire l'hypothèse selon laquelle l'activité solaire modulerait la formation des nuages : un fort vent solaire écarte les rayons cosmiques de la terre par son action sur les rayons cosmiques, rayons qui pourraient jouer un rôle dans la formation de noyaux de condensation des nuages (des expériences sont en cours au CERN sur ce sujet). Aucun jeu cohérent de données climatiques n'étayant cette hypothèse, elle n'est pas incluse dans les modèles de climat.

Les fonds océaniques recèlent des clathrates, hydrates de méthane solide, une réserve considérable de ce gaz à fort effet de serre. Une déstabilisation des eaux qui permettrait la décomposition de ces clathrates conduirait à une augmentation considérable de l'effet de serre.

La biosphère continentale

Beaucoup plus absorbante pour le rayonnement solaire qu'un sol nu, la végétation contribue de ce fait au bilan radiatif de la terre.

Par la photosynthèse et la respiration, la végétation est un puits de carbone en période de végétation active et une source de CO_2 en période de repos hivernal. Responsable à égalité avec les océans, de l'absorption du quart du CO2 émis par l'homme, la végétation risque de voir cette efficacité diminuer avec le réchauffement, d'une part par suite d'un cycle moins productif à cause du stress subi, et d'autre part à cause de la décomposition des composés organiques qu'elle stocke dans le sol.

La végétation intervient dans le cycle de l'eau pour sa croissance, mais aussi par sa transpiration et l'évaporation qu'elle permet.

Enfin, la végétation joue un rôle dans le cycle de l'azote et dans la chimie atmosphérique par les composés réactifs qu'elle émet.

La cryosphère

A l'état solide, neige ou glace, l'eau est un très bon réflecteur du rayonnement solaire. La solidification de l'eau ou la fonte de la glace se traduisent par une grande variation de l'albédo dans les régions considérées. Ce sont donc des phénomènes très amplificateurs des refroidissements ou des réchauffements.

A l'interface glace de mer – eau de mer, l'eau salée en train de geler tend à expulser son sel, augmentant ainsi la densité de l'eau, densité qui est le moteur de la grande circulation thermohaline.

Le réchauffement déstabilise le pergélisol qui pourra émettre le méthane qu'il contient. La diminution de la surface de la banquise augmente considérablement l'albédo de la surface, provoquant un renforcement du réchauffement. Une déstabilisation des calottes polaires peut entraîner des rejets massifs d'icebergs à la mer, et donc des apports d'eau douce qui perturberont gravement la circulation thermohaline.

Les volcans

Les volcans sont émetteurs de nombreux composés et en particulier de CO_2, mais, en quantité négligeable par rapport à l'homme pour ce qui concerne l'effet de serre.

Les éruptions majeures qui projettent des quantités importantes de particules dans la stratosphère ont un effet climatique certain (baisse de ½ degré de la température de surface de la terre pendant 2 ans après l'éruption du Pinatubo). Les particules en suspension dans la stratosphère y résident typiquement 2 ans avant de retomber vers le sol. Elles y jouent un rôle de parasol et diminuent le flux solaire qui atteint la surface.

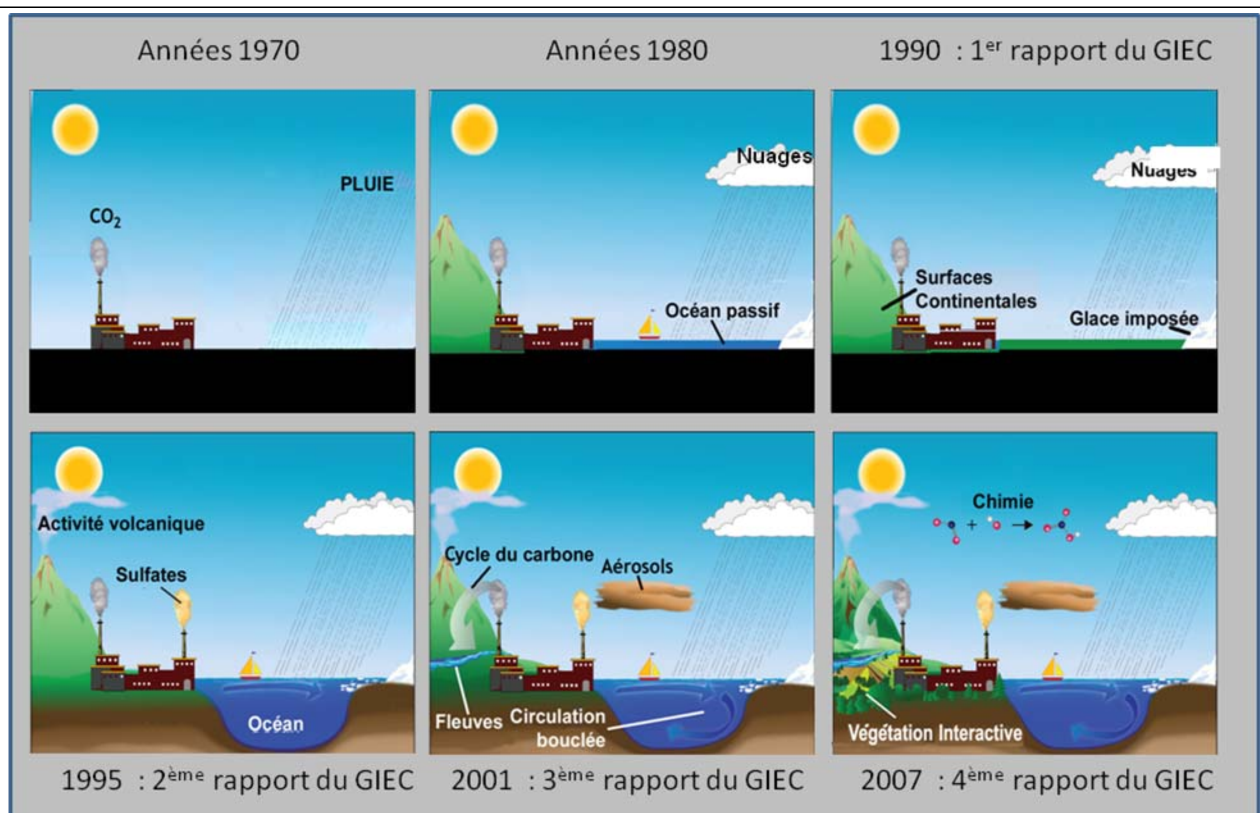
La prise en compte de telles éruptions dans les prévisions climatiques se fait de façon statistique : il n'est pas possible de prévoir où et quand aura lieu une telle éruption.

La lithosphère

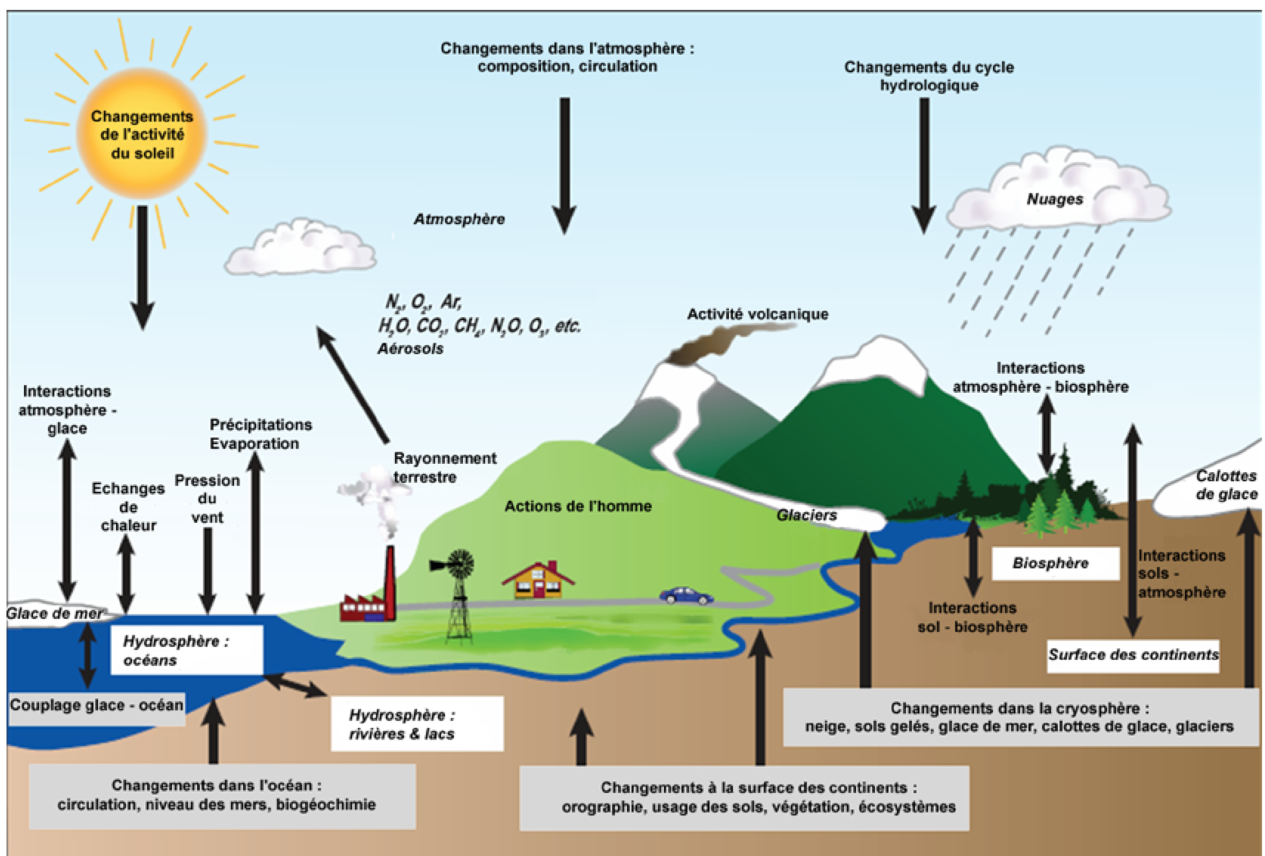
Les réactions chimiques avec la lithosphère (formation des carbonates) ont un rôle important dans l'évolution de l'effet de serre et donc du climat, mais à des échelles de temps géologiques, beaucoup plus longues que celle qui concerne le réchauffement actuel.

La modélisation du climat

Les premiers modèles de climat étaient extrêmement simples et se réduisaient à la circulation générale de l'atmosphère. Au fil des années, la compréhension de la machine climatique et des interactions entre les différents compartiments de l'environnement terrestres s'est considérablement améliorée. Les capacités des ordinateurs ne cessant de croître, il a été possible d'incorporer les nombreux processus dont des études ciblées ont montré l'importance dans le fonctionnement du climat. Les 2 figures ci-dessous, extraites du rapport 2007 du GIEC, montrent l'incorporation successive des divers processus dans les modèles et la palette des phénomènes pris en compte pour modéliser l'évolution du climat.



Evolution des modèles de climat depuis les premiers modèles des années 1970 jusqu'aux modèles utilisés pour le quatrième rapport du GIEC en 2007.



Modifications de l'environnement prises en compte dans les modèles simulant l'évolution du climat

Pour autant, les modèles de climat ne sont pas parfaits pour plusieurs catégories de raisons.

- *Notre connaissance de la machine climatique n'est pas complète*. Ainsi, si on a bien identifié des changements climatiques rapides dans les carottes de glace des calottes polaires, les processus en cause

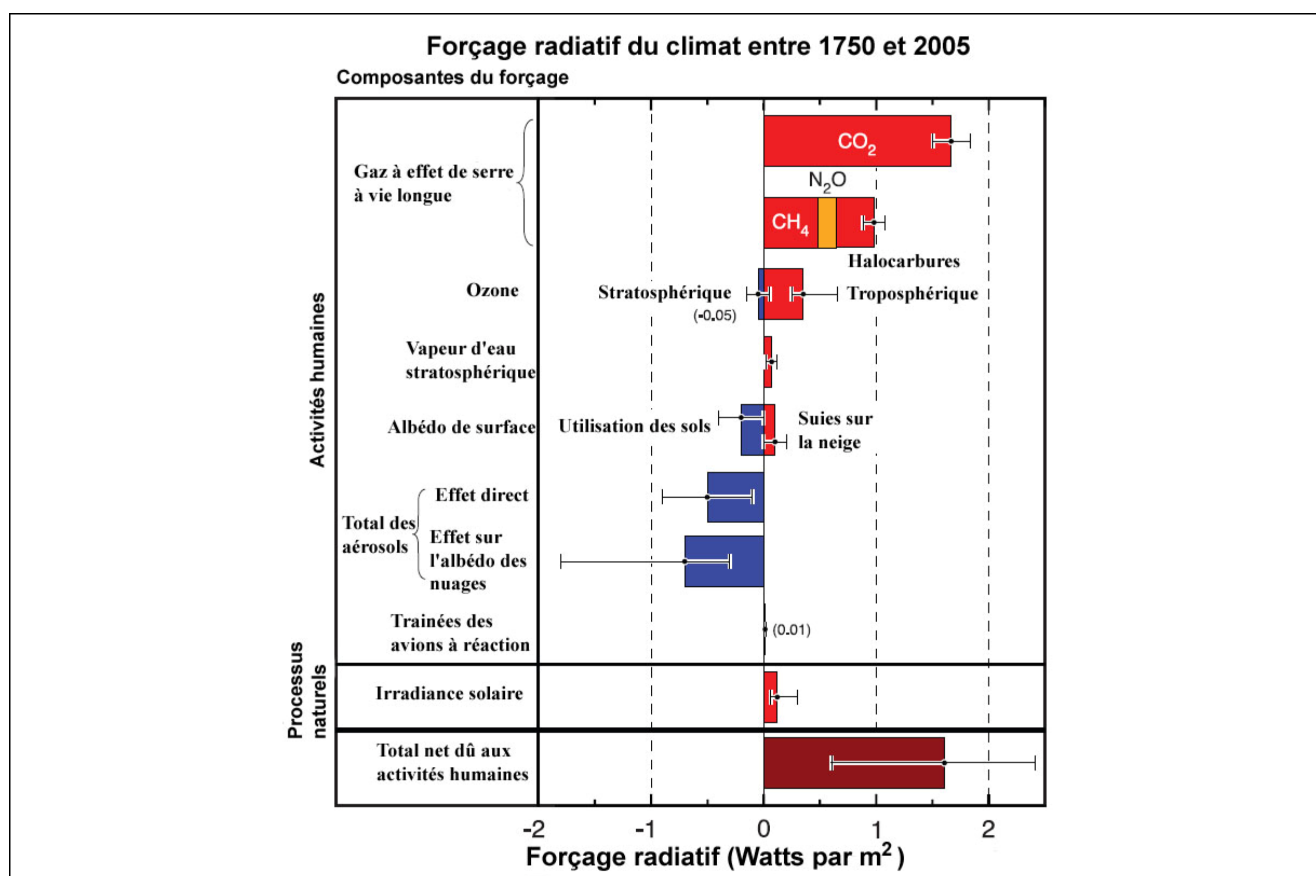
dans ces changements ne sont pas bien élucidés. Les barres d'erreur dans la figure des forçages du climat (voir ci-dessous) traduisent aussi une connaissance imparfaite des phénomènes.

- *Les capacités des ordinateurs sont limitées*. Les échelles de temps et d'espace en jeu dans les divers processus qui participent au climat sont extrêmement diverses. La machine climatique est complexe. Une modélisation traitant tous les processus aux échelles les plus fines qu'ils requièrent est complètement hors de portée même avec l'ensemble des moyens informatiques de la planète. Il faut donc faire les calculs avec des résolutions dégradées, parfois fortement, pour que ces calculs soient matériellement réalisables. Il s'ensuit que des processus ne peuvent pas être représentés exactement, mais doivent être simulés par des approximations plus ou moins réalistes. C'est une des causes des incertitudes, mais aussi des différences entre les résultats des divers modèles qui n'utilisent pas les mêmes approximations.

Les modèles de climat sont intercomparés. Dès le début des années 90, de grands programmes internationaux d'intercomparaison des modèles ont été mis en œuvre pour comprendre les mérites et incertitudes respectifs des différents codes de climat et comprendre les différences de leurs résultats. Ces intercomparaisons ont justifié de prendre la variabilité des résultats entre les modèles comme estimation de l'incertitude sur ces résultats.

Les différents forçages du climat depuis 1750

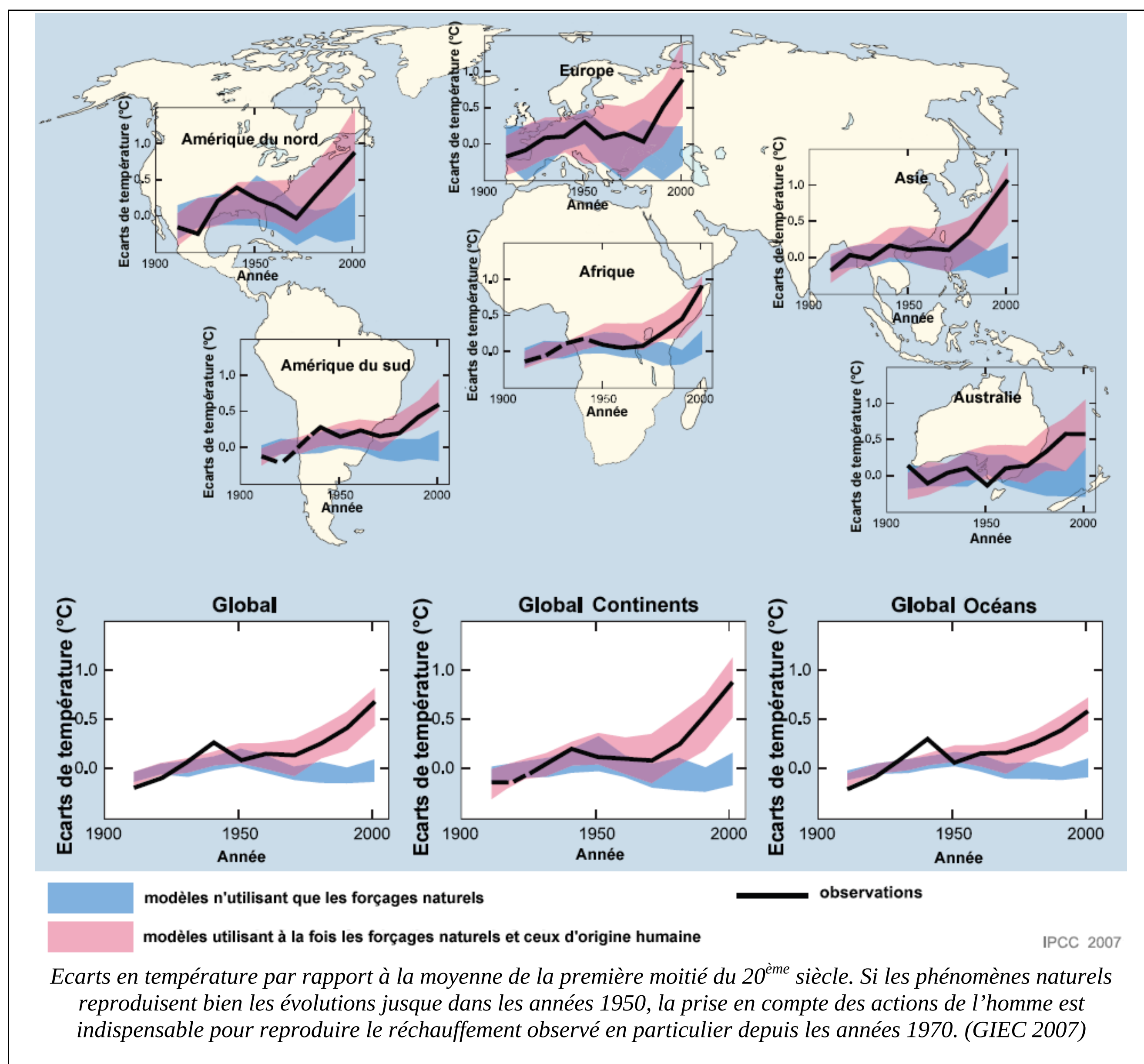
Les différents facteurs ayant varié depuis le début de l'ère industrielle et contribuant directement au forçage climatique sont représentés sur la figure ci-dessous qui indique aussi leur importance respective. Les effets induits par ces forçages sur l'environnement et les rétroactions qui en découlent sont comptabilisés dans le forçage primaire sur la figure.



Y a-t-il de la place pour d'autres processus ?

Nul ne prétend que nous ayons une connaissance complète de la machine climatique, et donc d'autres processus que ceux prises en compte jusqu'ici peuvent intervenir.

Mais les modèles reproduisent bien l'essentiel du phénomène et en particulier le réchauffement observé depuis le début des années 1970 s'explique très bien avec les modèles actuels où le principal responsable est le CO_2.



Ecarts en température par rapport à la moyenne de la première moitié du 20ème siècle. Si les phénomènes naturels reproduisent bien les évolutions jusque dans les années 1950, la prise en compte des actions de l'homme est indispensable pour reproduire le réchauffement observé en particulier depuis les années 1970. (GIEC 2007)

Cela n'est pas une surprise puisque le rôle climatique du CO_2 avait été prédit théoriquement avant que l'augmentation de la concentration atmosphérique prenne les proportions actuelles, et avant que le réchauffement qu'elle a causé ne soit perceptible.

Un autre processus ne pourra donc pas jouer un rôle prépondérant, sauf à prouver que toute la physique en jeu dans l'effet de serre du CO_2 serait rendue caduque par un autre processus à déterminer.

Que penser des prévisions pour l'avenir ?

Le meilleur des modèles ne sait évidemment calculer un climat que dans des conditions spécifiées. Ce que sera l'avenir ne peut pas se calculer sans la connaissance de ce que nous ferons pour cet avenir : quelle évolution des émissions de gaz à effet de serre ? quelle utilisation des sols et modifications de l'environnement ? C'est le but des « scénarios » du GIEC. Les scénarios sont des cas d'école. Des économistes, des sociologues, pourront faire des prévisions plus ou moins réalistes. Les modèles de climat ne peuvent travailler qu'avec ces scénarios d'évolution.

Les modèles ont, on l'a vu, leurs incertitudes propres, qui s'ajoutent aux incertitudes sur les scénarios.

Néanmoins, des choses sont sûres : le réchauffement est lancé et ne s'arrêtera pas, quoi qu'on fasse. Des tendances robustes émergent de tous les calculs, comme le réchauffement maximal aux hautes latitudes (déjà prévu par Arrhenius en 1896) une augmentation du contraste été hiver pour la pluviométrie de nos régions ou l'aridification du bassin méditerranéen. Mais l'avenir réel dépendra profondément de quand on décidera que vraiment on ne peut pas aller plus loin.

Quels signes d’un réchauffement du climat

Le climat se définit comme l’ensemble des situations météorologiques possibles dans les conditions environnementales données. Il ne se restreint pas à la définition de la moyenne, mais il inclut toute la variabilité. Il connaît des situations fréquentes et des situations rares, extrêmes. L’occurrence d’un événement météorologique inconnue jusqu’alors ne saurait donc être considérée comme une preuve du changement climatique. La répétition d’un tel événement est en revanche une bonne indication d’une évolution du climat.

La canicule de 2003, exceptionnelle (en remontant jusqu’en 1370 en Bourgogne, on n’a pas trouvé trace d’une telle canicule), n’est pas nécessairement liée au réchauffement global.

La fonte des glaciers alpins, générale, et qui dure est bien la preuve d’un réchauffement, quelle qu’en soit l’origine.

La diminution importante de l’épaisseur et de la surface e la banquise arctique en été, qui se poursuit depuis plusieurs décennies est bien la preuve du réchauffement, même si la fonte extrêmement importante de l’été 2007 peut au moins en partie être la conséquence de conditions météorologiques particulières sur le Pacifique.

La fonte du pergélisol est une autre évidence du réchauffement

En revanche la disparition de la glace sur le Kilimandjaro n’est pas la conséquence directe du réchauffement, mais celle de l’aridification de la région : il n’y a plus une alimentation en neige suffisante pour compenser la sublimation de la glace.

L’environnement donne aussi des indications du réchauffement aux hautes latitudes, avec le déplacement d’espèces animales et végétales vers le nord.

Le réchauffement est certain, les mesures de température le montrent simplement.

Une bonne indication du rôle de l’effet de serre dans ce réchauffement est l’évolution des maxima mensuels de température diurne et nocturne. Le contraste jour nuit est conditionné par les pertes de chaleur du sol par rayonnement, la nuit. Or les maxima nocturnes ont plus augmenté que les maxima diurnes, une bonne indication d’une possibilité accrue de piégeage du rayonnement..